الوحدة الثانية

المعالجات الحرارية للفولاذ

الوحدة الثانية : المعالجات الحرارية للفولاذ

الهدف العام للوحدة : إجراء المعالجات الحرارية على الصلب.

الأهداف الإجرائية :

عندما تكتمل هذه الوحدة تكون لدى المتدرب القدرة على أن :

١/ يتعرف على الشبكات البلورية الشائعة في المعادن.

٢/ يرسم منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون.

٣/ يذكر الأطوار المختلفة في منحنى الحديد والكربون.

٤/ يشرح المصطلحات المتعارف عليها في منحنى الحديد والكربون.

٥/ يجري عمليات التصليد المختلفة.

٦/ يجري عملية التلدين بطريقة صحيحة.

٧/ يجري عملية المراجعة على الصلب.

٨/ يجري عملية التلدين على الصلب بطريقة صحيحة.

٩/ يحدد درجة الحرارة المناسبة للتصليد ، المراجعة ، التلدين، المعادلة.

١٠/ يتقيد بالسلوك المهني السليم ويحرص على اتباع أصول الأمن والسلامة في العمل على تنفيذ هذه الوحدة.

السلوك المهني الذي يجب التقيد به خلال التدريب على مفردات هذه الوحدة التدريبية

أخـــي المتـدرب:

إن تطبيقك للسلوك المهني السليم أثناء تدريبك على مفردات هذه الوحدة هو الطريق الأمثل لنجاحك وتفوقك واكتساب احترام و تقدير الآخرين وتجنبك للحوادث المحتمل حدوثها أثناء تواجدك في بيئة العمل ومن هذه السلوكيات ما يلي:

١/ تقيدك بلبس ملابس السلامة المناسبة مثل حذاء السلامة ونظارات السلامة أثناء العمل في الورشة أو المختبر دليل وعيك.

٢/ تنظيم وترتيب العدد والأدوات بشكل منظم ومرتب.

٣/ المحافظة على نظافة الورشة والمختبر .

٤/ المحافظة على الهدوء والنظام في الورشة والمختبر .

٥/ حسن التعامل مع المدربين.

٦/ التقيد بالإرشادات والأنظمة في الورشة والمختبر .

٧/ حسن التعامل مع زملائك المتدربين.

٨/ التحلي بالأخلاق والتعاليم الإسلامية في تعاملك و أثناء عملك.

٩/ طاعة المدربين واحترام زملائك المتدربين وحسن التعامل مع الجميع.

إرشادات الأمن والسلامة في المعالجة الحرارية للفولاذ

١/ التقيد بلباس السلامة المناسب مثل حذاء السلامة ونظارات السلامة أثناء العمل في الورشة.

٢/ استخدامك القفازات الجلدية والمريول الجلدي المضاد للحرارة أثناء عمليات المعالجات الحرارية يجنبك الحروق.

٢/ تنظيم و ترتيب العدد والأدوات بشكل منظم ومرتب.

٣/ المحافظة على النظافة في الورشة.

٤/ عدم العبث بالعدد والمعدات والآلات في الورشة.

٥/ تجنب المزاح في الورشة أو أثناء العمل لما يتسبب في حوادث خطيرة .

٦/ استخدم الأفران والعدد والأدوات حسب إرشادات المدربين لتجنب الحوادث .

٧/ اتبع الطريقة الصحيحة في تنفيذ التجربة حسب إرشادات المدربين لتجنب الحوادث.

٨/ نظف أرض الورشة جيداً من الزيوت أو السوائل لتجنب الانزلاق والحوادث.

مقدمـــة

تعرضنا في الوحدة الأولى للاختبارات الميكانيكية التي تجرى على المعادن وذلك لأهميتها في تحديد خواصها وملاءمتها لظروف التشغيل المحتملة، وفي هذه الوحدة سوف نتعرض للمعالجات الحرارية التي تجرى على السبائك والمعادن، حيث إنه في المعالجات الحرارية يمكن الحصول على الخواص المطلوبة للأجزاء المصنعة حسب التصميم الذي أعدت من أجله، كما أنه بالمعالجات الحرارية يمكن التخلص من معظم العيوب والمساوئ التي تنشأ أثناء التصنيع مما يقلل في الخواص الميكانيكية ويقصر عمر الأداء أو الجزء المصنع إذا ما وضع مباشرة بالخدمة دون إجراء المعالجة الحرارية المناسبة.

ولا يمكننا فهم وتطبيق تكنولوجيا المعالجات الحرارية بالشكل الأمثل إلا بدراسة الشبكات البلورية في المعادن ومنحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون والذي يبين لنا حدود المعالجات الحرارية.

البناء البلوري في المعادن

تتكون جميع الأجسام من ذرات، فالمواد التي يكون الترتيب الهندسي فيها للذرات عشوائياً مثل الزجاج والشمع تسمى مواد غير متبلورة Amorphous وخواصها الطبيعية والكيميائية والميكانيكية في جميع الاتجاهات واحدة.

أما المواد التي تنتظم فيها الذرات فيما بينها تنظيماً هندسياً دقيقاً مثل المعادن فتسمى مواد متبلورة Crystalline وهذا التنظيم للشكل هو الذي يكسبها اللمعان والبريق والقابلية للتوصيل الحراري والكهربائي والتشكيل، وتختلف هذه الخواص باختلاف الاتجاهات ولا تعتمد هذه الخواص على التركيب الكيميائي فقط ولكن هناك بعض الظواهر يجب أن تؤخذ في الاعتبار مثل:

١ - الترتيب الهندسي الفراغي للذرات Space lattice
٢ - درجة التقارب بين وحدات البناء Close packing
٣ - الروابط الكيميائية بين الذرات Chemical bond

وتترتب المعادن في الشبكات البلورية بأشكال مختلفة، ولكل معدن شكل بلوري خاص به. وقد تتقارب المعادن ذات الأشكال البلورية المتشابهة في الخواص الميكانيكية حتى إن اختلفت بعض الخواص الكيميائية، وهناك بعض المعادن مثل الحديد والمنجنيز والكوبالت والقصدير توجد على أكثر من شكل بلوري باختلاف درجة الحرارة وهذا ما يعرف بالتآصل أو تعدد الأشكال Allotropic، وتختلف الخواص كلياً باختلاف الشبكات البلورية، ويستفاد من هذه الظاهرة في تشكيل بعض المعادن على الساخن.

أنواع الشبكات البلورية الأكثر شيوعا في المعادن

١/ شبكة مكعبية متمركزة الجسم (B.C.C)

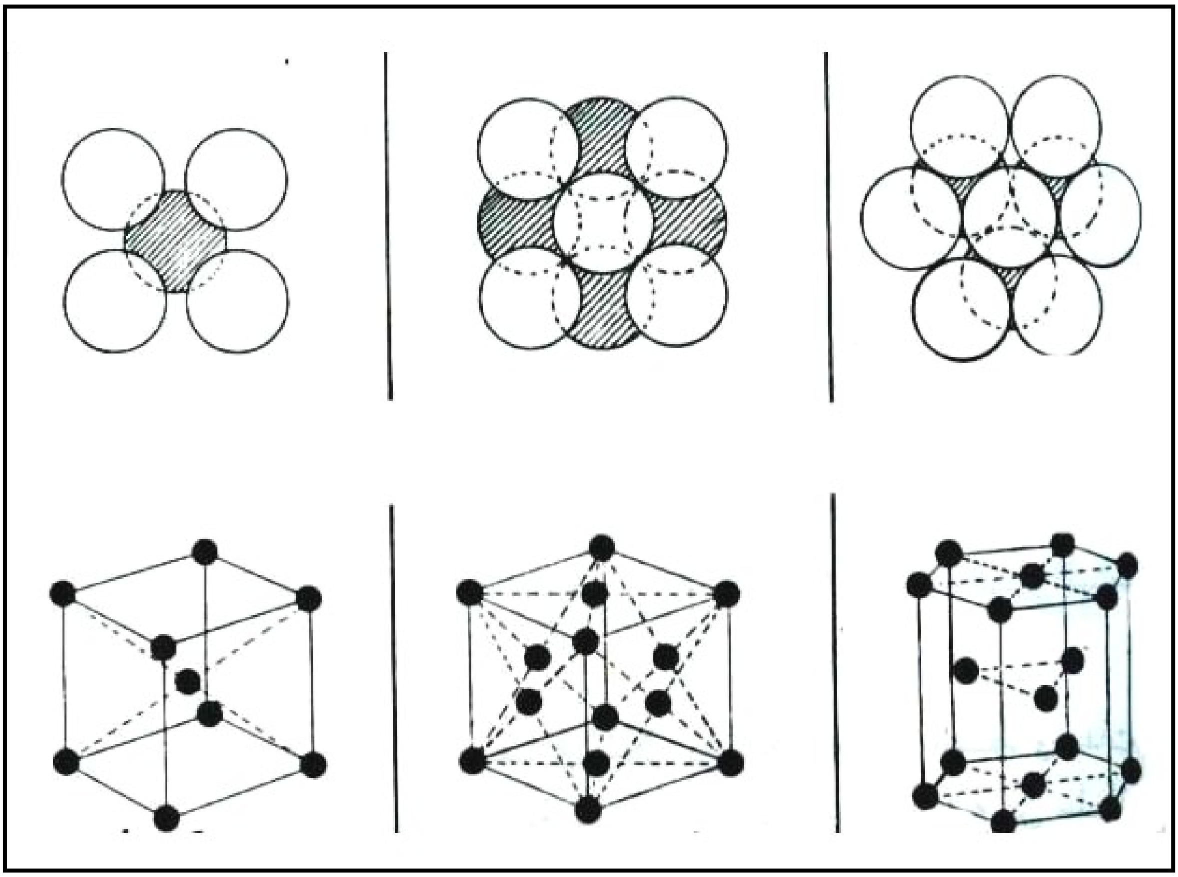
يتكون هذا النوع من الشبكات من تسع ذرات ومن أمثلته الحديد في التشبيكة ألفا (Fe α) والفاناديوم والتانجستوم والملدينيوم. (الشكل رقم ١).

٢/ شبكة مكعبية متمركزة الوجه (F.C.C)

يتكون هذا النوع من الشبكات من أربع عشرة ذرة ومن أمثلته الحديد في التشبيكة جاما $(Fe\gamma)$ والنحاس والألمنيوم والفضة. (الشكل رقم ١).

٣/ الشبكة السداسية المكتظة (محكم التعبئة) (H . C . B)

يتكون هذا النوع من الشبكات من سبع عشرة ذرة ومن أمثلته الزنك والمغنسيوم والكوبالت والنيكل. (الشكل رقم ١).



الشبكة السداسية المكتظة — شبكة مكعبية متمركزة الوجه — شبكة مكعبية متمركزة الجسم

الشكل رقم (١)

المعادن والسبائك Metals & Alloys

تستخلص المعادن من المواد الخام الخاصة بها ثم تتم تنقيتها. والمعادن في صورتها النقية لا تملك جميع الخواص الهندسية المطلوبة ، ولجعل المعادن أكثر فائدة يتم خلط المعادن مع بعضها ويسمى المعدن الجديد سبيكة Alloy .

ويمكن تقسيم السبائك إلى نوعين :

- السبائك الحديدية ، وهذه السبائك يكون الحديد فيها هو المادة الأساسية.
- السبائك غير الحديدية ، وهذه السبائك تضم معادن أخرى غير الحديد في تكوينها.

الحديد النقي : هو معدن صلب؛ وهو المادة الرابعة التي وجدت على سطح الأرض ونذكر بعض خواصه:

١. ثقيل الوزن.
٢. ذو خاصية مغناطيسية وتبلغ درجة ذوبانه 1450 درجة مئوية.
٣. يصدأ إذا تعرض للهواء الرطب.
٤. موصل للكهرباء و موصل للحرارة.
٥. يمتاز بالليونة قابل للسحب وقابل للثني.
٦. لونه فضي أو بني إذا كان صدئا.

حديد خام

حديد مصنع

أنواع الحديد :

١/ تماسيح الحديد Pig Iron.
٢/ الحديد المطاوع Cast Iron.
٣/ الحديد الزهر Wrought Iron.

سبائك الحديد :

١/ الصلب (الفولاذ).
٢/ حديد الزهر.
٣/ الصلب السبائكي.

أنواع الصلب :

أ - الصلب الكربوني: صلب منخفض الكربون؛ نسبة الكربون 0.008 – 0.25

ب -صلب متوسط الكربون: نسبة الكربون 0.25% - 0.6

ج- صلب عالي الكربون: نسبة الكربون 1.4% – 0.6

- **تماسيح الحديد Pig Iron :** عبارة عن الحديد الناتج من مصنع الحديد (الفرن العالي) ويحتوي على الكربون والكبريت والمنجنيز والسيليكون والفسفور.
- **الحديد المطاوع Cast Iron :** يشبه في تركيبة الحديد النقي ويستعمل في تصنيع منتجات كثيرة لا تحتاج إلى مواصفات خاصة.
- **الحديد الزهر Wrought Iron :** وهو حديد تكون فيه نسبة الكربون عالية من ٣ ـ ٤ ٪ وأنواعه :

١. حديد زهر رمادي Gray Cast Iron
٢. حديد زهر أبيض White Cast Iron
٣. حديد زهر طري قابل للطرق Malleable Cast Iron
٤. حديد زهر ذو الجرافيت المتكور (المطيل) Nodular Cast Iron

السبائك الحديدية :

- **الصلب** Steel: هو سبيكة من الحديد والكربون من ٠,٠٣٥٪ الى ٢٪ كربون ولا تزيد عن هذا المعدل، ويكون الكربون متحداً مع الحديد في هذه الحالة اتحاداً كيميائياً ويسمى كربيد الحديد (سيمنتيت).
- **الصلب السبائكي** Alloy Steel: هو الصلب الذي يحتوي على عناصر أخرى غير الكربون مثل السيلكون والمنجنيز والنحاس والنيكل وغيرها والتي بسببها تتحسن مواصفات الصلب و بعض أنواعه

١. صلب السيليكون Silicon Steel
٢. صلب السرعات العالية High Speed Steel
٣. الصلب المقاوم للحرارة Heat Resistant Steel
٤. الصلب غير القابل للصدأ Stainless Steel

السبائك غير الحديدية Non Ferrous Alloy

السبائك غير الحديدية هي السبائك التي لا يكون الحديد والكربون من مكوناتها الأساسية و نذكر منها : **الألمنيوم** Aluminum **النحاس** Copper

- **الألمنيوم** Aluminum : يستعمل الألمنيوم بشكل واسع في صناعة كثير من المنتجات و بعض خواصه:

١- موصل جيد للحرارة والكهرباء.

٢- لونه ابيض أو رمادي خفيف وغير قابل للصدأ.

٣- له قابلية عالية للطرق والسحب والثني.

٤- خفيف الوزن لذلك يستعمل في صناعة الطائرات.

٥- غير مغناطيسي وينصهر عند درجة حرارة ٦٦٠ درجة مئوية.

ألمنيوم خام

ألمنيوم مصنع

- **النحاس** Copper : يستعمل النحاس بشكل واسع في صنع المنتجات الموصلة للحرارة أو الكهرباء ونذكر بعض خواصه :

١. وزنه ثقيل.

٢. له قابلية عالية للطرق والسحب والثني.

٣. موصل ممتاز للحرارة والكهرباء.

٤. لونه بني مائل للإحمرار وغير قابل للصدأ.

٥. غير مغناطيسي وينصهر عند درجة حرارة ١٠٨٣ درجة مئوية.

نحاس خام

نحاس مصنع

منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون

لقد تحددت معالم الرسم البياني لأطوار سبائك مجموعة الحديد والكربون كما نعرفه الآن نتيجة الأبحاث التي قام بها عدد من علماء المعادن، وقد بدأ إنشاء هذا الرسم البياني العالم الروسي د.تشر نوف الذي اكتشف النقط الحرجة للصلب عام ١٨٦٨م، انظر الشكل رقم (٢) الصفحة (١٦٠) وقد عاود بحث هذا الرسم البياني بعد ذلك أكثر من مرة علماء آخرون، وتعتبر سبائك الحديد والكربون من النوع الذي يكون مركباً كيميائياً، وسنبحث فيما يلي جزءا من منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون لأهميته في:

١/ معرفة حدود المعالجات الحرارية.

٢/ معرفة التركيب البلوري لأطوار السبائك.

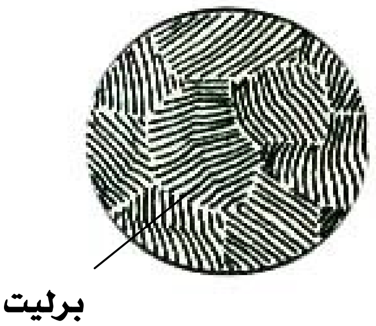
٣/ معرفة كمية الأطوار في السبائك.

٤/ العلاقة بين تركيب بنيات السبائك وخواصها الميكانيكية والطبيعية.

يتكون الفولاذ من ثلاثة أنواع رئيسة على النحو التالي:

١/ الفولاذ اليوتكتويدي :

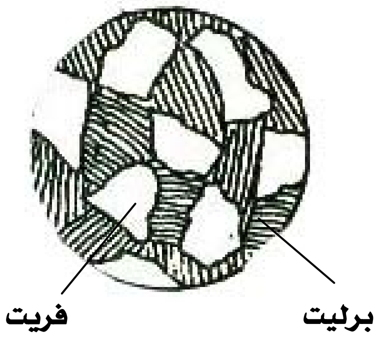
وهو الفولاذ الذي يحتوي على كربون بنسبة ٠,٨٦٪ وبنية هذا الصلب تحتوي على طبقات متوازنة من الحديد ألفا (فريت) وكربيد الحديد (السيمنتيت) ويسمى هذا المخلوط الميكانيكي بالبرليت وتظهر البنية تحت المجهر على هيئة صدفية الشكل. عند تسخين الصلب لدرجة أعلى من ٧٢٧ يتحول هذا الطور الى استنيت .



الفولاذ اليوتكتويدي

٢/ الفولاذ قبل اليوتكتويدي :

وهو الفولاذ الذي يحتوي على كربون بنسبة من ٠,٠٢٢ ٠,٨٦٪ وتتكون هذه البنية من الفريت وكميات غير متوازنة من البرليت.

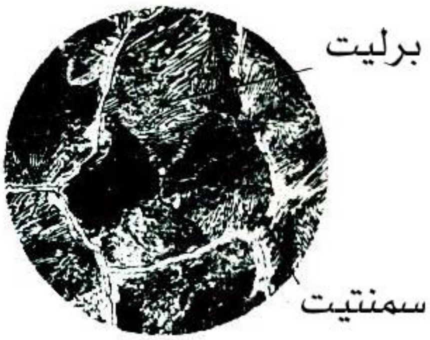


الفولاذ قبل اليوتكتويدي

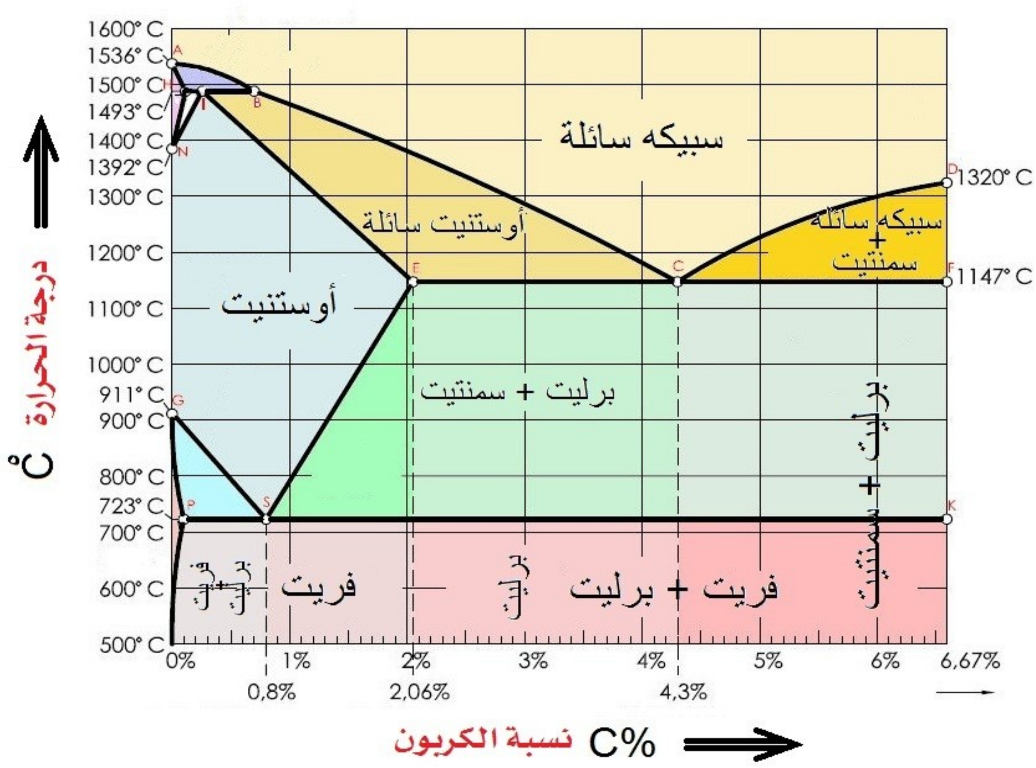
عند التسخين فوق ٧٢٧ يتحول البرليت الى اوستنيت وعند الاستمرار بالتسخين يتحول الفريت ايضاً إلى أستنيت .
(انظر منحنى الحديد والكربون)

٣/ الفولاذ بعد اليوتكتويدي :

وهو الفولاذ الذي يحتوي على كربون بنسبة أكثر من ٠,٨٦٪ ويتكون من صفائح السيمنتيت وكميات غير متوازنة من البرليت.
عند التسخين لدرجة أعلى من ٧٢٧ يتحول البرليت إلى أسمنتيت وعند الاستمرار بالتسخين إلى درجات حرارة عالية يتحول الأسمنتيت ايضاً (انظر منحنى الحديد والكربون).



الفولاذ بعد اليوتكتويدي

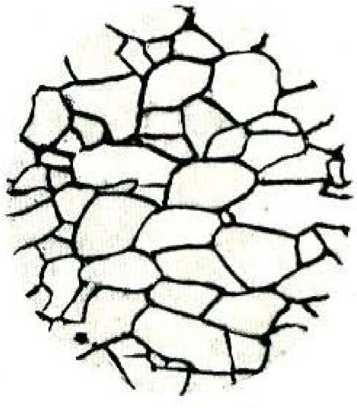


منحى الإتزان الحراري للحديد و الكربون
الشكل رقم (٢)

بعض المصطلحات الميتالورجية المستخدمة في منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون :

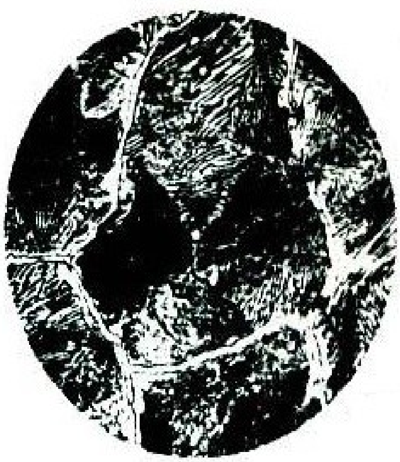
١/ الفريت :

وهـو الحديـد في التشـبيكة ألفـا (Fea) بنـاؤه البلـوري مكعبـة متمركـزة الجسم، قابلية ذوبان الكربون في هذا الطور محدودة. أعلى نسبة للكربون يمكن إذابتها في الحديد تساوي 0.02% طري نسبيا.



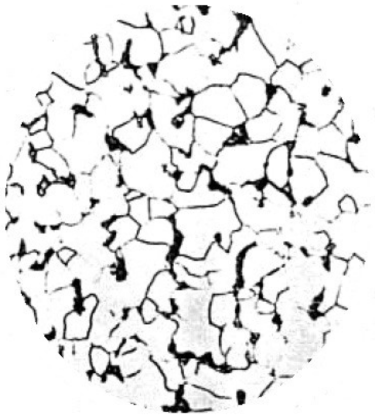
٢/ السيمنتيت :

وهـو مركـب كيميـائي بـين الحديـد والكـربـون (كـربيـد الحديـد) Fe_3c غـني بالكربون نسبة الكربون فيه % 6.7 يتميز بصلادة وقصافة عالية .



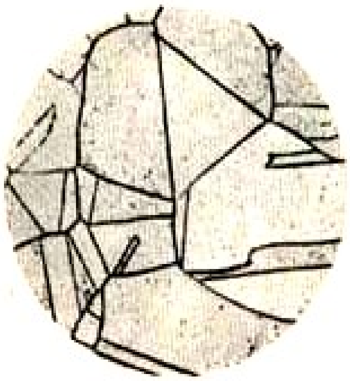
٣/ البيرليت :

وهو عبارة عن طبقات من الفريت والسيمنتيت.



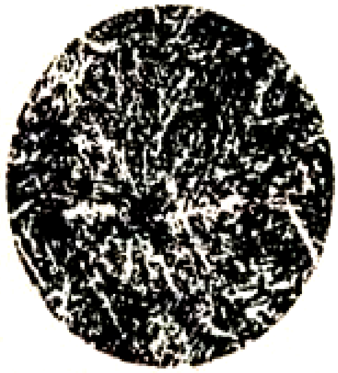
٤/ الأوستنيت:

وهو الحديد في التشبيكة جاما $(Fe\gamma)$ المذيب للكربون. تركيبه البلوري مكعب ممركز الوجه، أعلى نسبة كربون يمكن اذابتها فيه تساوي ٢٪



٥/ مارتنزيت:

وهو خليط من الفريت والسيمنتيت ويحدث بالتبريد السريع للأوستنيت وهو ذو صلادة وقصافة عالية وله شكل إبري.



المعالجة (المعاملة) الحرارية للفولاذ

المقصود بالمعالجة الحرارية هو رفع درجة حرارة المعدن أو السبيكة إلى درجة حرارة معينة وتثبت درجة الحرارة لفترة زمنية ملائمة ومن ثم التبريد بمعدل تبريد معين فهذه العوامل الثلاثة:

١/ درجة الحرارة التي يسخن إليها المعدن.

٢/ زمن تثبيت درجة الحرارة.

٣/ معدل التبريد.

لها تأثير بالغ على الخواص المراد تحقيقها من المعالجة الحرارية لذا ينبغي أن تحدد هذه العوامل بصورة دقيقة؛ وأن أي خطأ في تحديد هذه العوامل يؤدي إلى عدم تحقيق الخواص المطلوبة والغاية المتوخاة من المعالجة الحرارية.

أهداف المعالجة الحرارية:

يمكن القول إن المعالجة الحرارية للمعادن والسبائك تهدف بشكل عام إلى:

أ- تحسين الخواص التشغيلية والتشكيلية للمعدن وذلك بزيادة لدونته مما يسمح بزيادة إنتاجية التشغيل وعدم حدوث تشوهات أثناء عمليات التشكيل مثل الكبس والسحب.... الخ.

ومن المعتاد أن يتم ذلك على المواد الخام ونصف المصنعة قبل وأثناء عمليات التشغيل و التشكيل.

ب- إكساب المعدن الخواص النهائية المرغوب فيها ويتم ذلك على قطع العمل المنتهية مثل (التصليد ، التصليد الغلافي).

ومن الممكن أن تتبع هذه العملية عمليات تشطيب نهائية لإزالة بعض تشوهات المعالجة الحرارية.

علاقة المعالجات الحرارية بالخواص الميكانيكية للصلب:

١. المعالجة الحرارية تزيد من مرونة ولدونة الصلب (عملية التخمير).
٢. المعالجة الحرارية تزيد من مقاومة الصلب للخدش والتآكل (عملية التصليد).
٣. المعالجة الحرارية تقلل من الهشاشة الموجودة في الصلب بعد عملية التصليد (عملية المراجعة).
٤. المعالجة الحرارية تعمل على تنظيم التركيب البيني للمعدن نتيجة لتغيره في عمليات التشكيل على البارد (عملية المعادلة).

أنواع المعالجة الحرارية:

هناك أربعة أنواع من المعالجات الحرارية الأساسية الشائعة التي تجرى على الصلب لغرض تغيير خواصه الميكانيكية وهي:

١. التصليد أو التقسية Hardening .
٢. التخمير (التلدين) Annealing .
٣. المعادلة (الاستعدال) Normalizing
٤. المراجعة أو التطبيع Tempering .

أولا: التصليد (التقسية) Hardening :

تهدف هذه العملية إلى زيادة صلادة الفولاذ ورفع مقاومته لإجهاد الشد ومقاومة التآكل بالاحتكاك ويتم التصليد إما بالتشكيل على البارد [١] أو بالمعالجات الحرارية

تكنولوجيا التصليد:

الصلب (الفولاذ) من المعادن المتآصلة. ففي درجات الحرارة الأعلى من النطاق الحرج العلوي يكون عبارة عن أوستنيت ذي الشبكة المكعبية المتمركزة الوجه والتي تذيب الكربون.

عند تبريد الصلب (الفولاذ) تبريدا بطيئا يتحول إلى الفريت ذي الشبكة المكعبية المتمركزة الجسم التي لا تذيب الكربون.

عند التبريد السريع الفجائي وسرعة التحول من الشبكة المكعبية المتمركزة الوجه إلى الشبكة المكعبية المتمركزة الجسم لا تجد ذرات الكربون فرصتها للانطراد خارج حدود الذرات فتنحشر داخل الذرات مكونة بنية صلدة وقصفة تسمى المرتنزيت ولا يحدث ذلك إلا بالتبريد المفاجئ السريع.

---

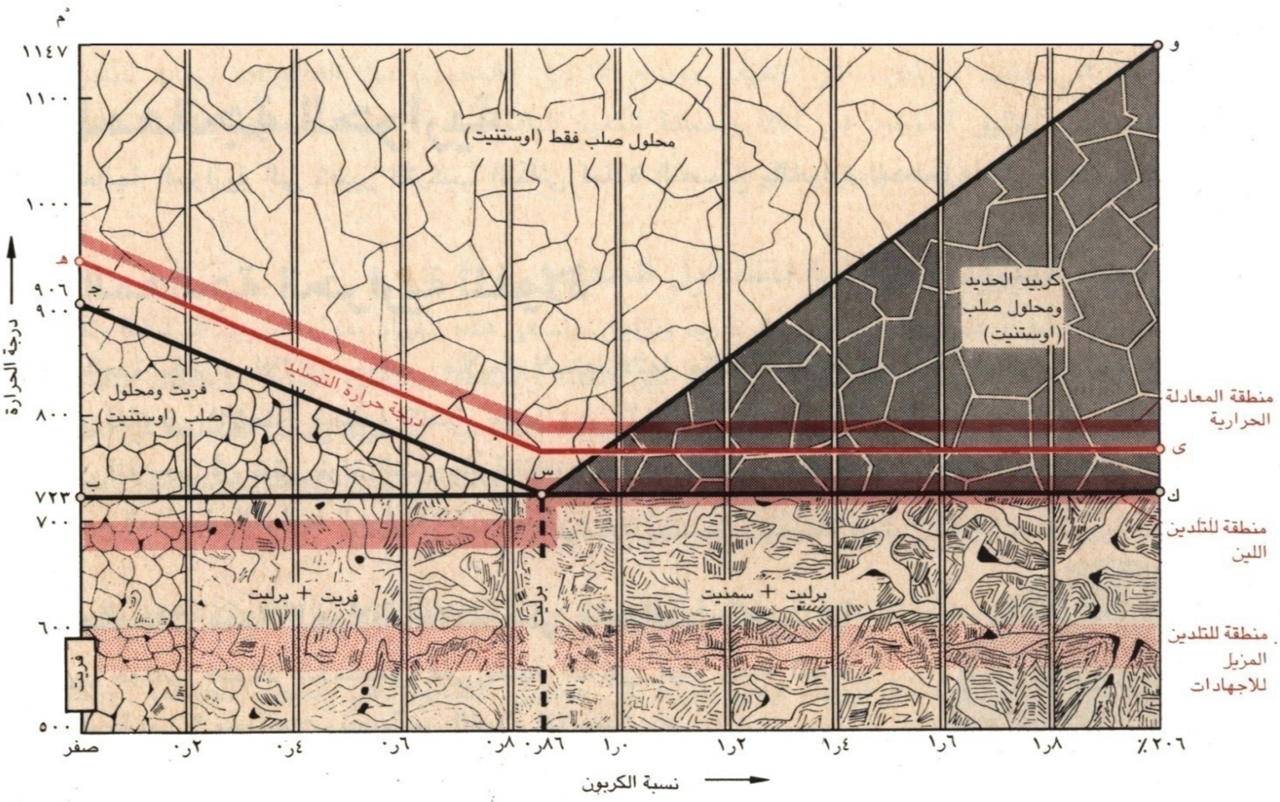
١ - التشكيل على البارد مثل الدلفنة ليجعل السطح صلداً.

الأسس الفنية لعملية التصليد:

١/ درجة حرارة التصليد :

يتم تسخين الصلب اليوتكتويدي والقبل يوتكتويدي بمقدار٣٠ْم ما فوق النطاق الحرج العلوي، أما الصلب ما بعد اليوتكتويدي فيتم تسخينه بمقدار٣٠ْم إلى ما بعد النطاق الحرج السفلي،

يتم اختيار درجة الحرارة حسب نسبة الكربون بحيث يتحول طور الفيريت الى أوستنيت كذلك طور البيرلايت الى اوستنيت. انظر الشكل رقم (٣).



الشكل رقم (٣)

٢/ وجوب تجانس الأوستنيت قبل التبريد:

لضمان التوزيع المنتظم لذرات الكربون داخل حبيبات الأوستنيت حتى لا نحصل على صلب ذي صلادات متباينة، وتحسب في الغالب ساعة لكل ٢,٥سم للسمك أو القطر.

٣/ الانتقال الحراري أثناء عملية التبريد:

صلادة قطعة العمل تعتمد على سرعة التبريد فيجب التقليب السريع والمستمر أثناء التصليد للتخلص من الطبقة الغازية المحيطة لقطعة العمل.

٤/ نوع وسيط التبريد:

يجب أن يتمتع وسيط التبريد ولو بشكل نسبي بميزة استيعاب كمية الحرارة في اللحظات الأولى لعملية التبريد لضمان تكون المرتنزيت ثم بمعدل تبريد منخفض لمنع التشوه الذي قد يحدث في منطقة العمل، ومن وسائط التبريد المستخدمة الماء، الزيت، الماء والملح، الملح المنصهر، الهواء الساكن.

- الصلب الكربوني الذي يحتوي على نسبة كربون أقل من % 0.25 لا يقبل المعالجات الحرارية .

٥/ درجة حرارة وسيط التبريد:

كلما زادت درجة حرارة وسيط التبريد قل معدل التبريد ، ولضمان ذلك يجب استخدام كميات كبيرة من وسيط التبريد وإحداث حركات دوامية أثناء تقليب قطع العمل.

٦/ سطح قطعة العمل المصلدة:

تتكون على سطح قطعة العمل طبقة من الأوكسيد نتيجة بخار الماء وهذه الطبقة تقلل معدل التبريد ويتغلب على ذلك بعدة طرق منها:

١. الطلاء بالنحاس.
٢. استخدام جو خامل داخل فرن التسخين.
٣. التسخين في حمامات الأملاح المنصهرة.
٤. إحاطة الجزء ببرادة حديد الزهر.

العيوب الممكن حدوثها أثناء عملية التصليد :

١. انخفاض الصلادة وتحدث نتيجة عدم التسخين إلى درجة الحرارة اللازمة أو عدم التبريد بالسرعة الكافية.
٢. الصلادة المتفاوتة وتحدث لعدم تجانس الأوستنيت في البنية.
٣. تأكسد السطح واحتراق الكربون فيه ويحدث نتيجة عدم عزل سطح القطعة المصلدة.
٤. اعوجاج وتشقق المشغولات وهو من أخطر العيوب ويحدث نتيجة الإجهادات الكبيرة التي تحدث أثناء عملية التصليد لذلك يجب تدوير أركان القطع المصلدة والتدرج في مقاطع المشغولات. ويمكن أن ينتج عن الزيادة الكبيرة في درجة الحرارة.

تجربة عملية :

أخي المتدرب:

قبل تنفيذك لهذه التجربة تأكد من توفر وسائل السلامة

التجربة	تصليد كامل		
نوع معدن قطع العمل	CK45 نسبة الكربون		
أبعاد قطعة العمل	عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر		
	عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55 عينة صدم		
الاختبارات الميكانيكية قبل عملية التصليد			
للعينات الدائرية	مقاومة الشد σ_{UTS} =	إجهاد الخضوع σ_y =	
للعينات المسطحة	صلادة برينل HB =	الشغل المبذول في الصدم U =	
الغرض من التجربة			
الأدوات المستخدمة			
درجة حرارة التصليد=	درجة حرارة وسيط التبريد=		
نوع وسيط التبريد=	زمن التصليد=		
طريقة العمل			
الاختبارات الميكانيكية بعد عملية التصليد			
للعينات الدائرية	مقاومة الشد σ_{UTS} =	إجهاد الخضوع σ_y =	
للعينات المسطحة	صلادة برينل HB =	الشغل المبذول في الصدم U =	
الاستنتاج			

١ / التصليد السطحي:

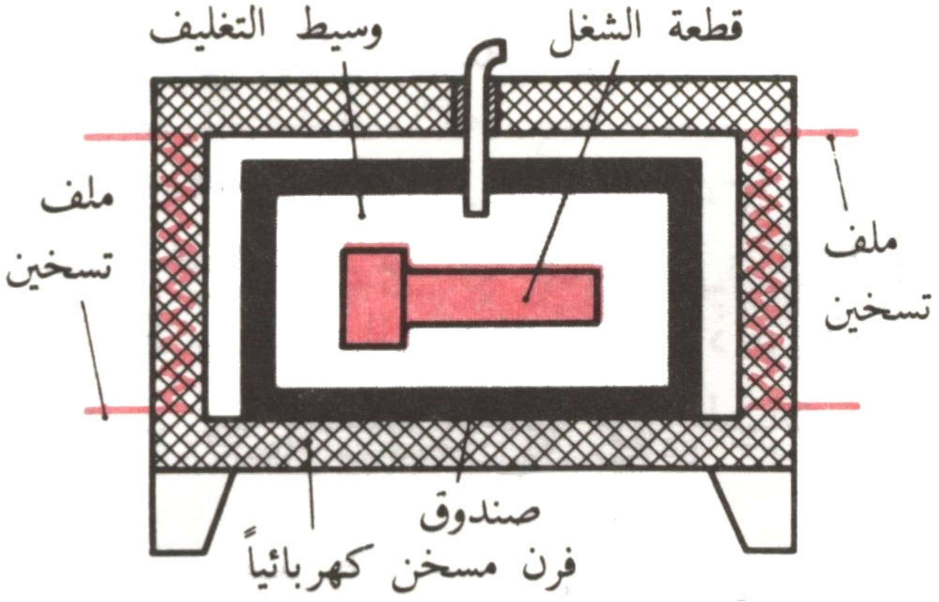
يكون التصليد السطحي على سطح قطع العمل فقط؛ وذلك للحصول على سطح يقاوم التآكل بالاحتكاك مع الاحتفاظ بقلب لين يقاوم الصدمات، ويتم التصليد السطحي بشكل عام على الصلب منخفض الكربون وذلك بعدة طرق:

أولا: التصليد بالكربنة Carburising

تتم للصلب الكربوني منخفض الكربون نسبة الكربون أقل من 0.25% وتعتمد على تغلغل الكربون وانتشاره على سطح الصلب مكوناً مركب كربيد الحديد (Fe_3c) بعد تسخينه لدرجة تكون الأوستنيت، والكربون يكون محاطاً بقطعة العمل على شكل صلب أو سائل أو غاز.

أ / الكربنة في وسط صلب :

توضع قطع العمل في صناديق وتكون محاطة بالمادة الكربونية مثل فحم الخشب أو الفحم الحيواني أو فحم العظام أو الجلد الحيواني وتوضع على مسافات ٥٠ملم؛ وتضاف مادة منشطة مثل كربونات الصوديوم أو كربونات الباريوم ويحكم غلق الصندوق بحشو إسمنتي مانع للتسرب ويسخن ببطء حتى درجة حرارة الكربنة 900Co - 950Co ويحفظ عند هذه الدرجة لمدة تصل إلى خمس ساعات تبعاً لسمك الطبقة المطلوبة، انظر الشكل رقم (٤).



الشكل رقم (٤)

تجربة عملية:

أخي المتدرب:

قبل تنفيذك لهذه التجربة تأكد من تطبيقك لإجراءات السلامة

<table>
<tr><td>التجربة</td><td colspan="2">تصليد كامل</td></tr>
<tr><td>نوع معدن قطع العمل</td><td colspan="2">C10 نسبة الكربون</td></tr>
<tr><td rowspan="2">أبعاد قطعة العمل</td><td colspan="2">عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر</td></tr>
<tr><td colspan="2">عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55</td></tr>
<tr><td>التجربة</td><td colspan="2">تصليد كامل</td></tr>
<tr><td>نوع معدن قطع العمل</td><td colspan="2">C10</td></tr>
<tr><td rowspan="2">أبعاد قطعة العمل</td><td colspan="2">عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر</td></tr>
<tr><td colspan="2">عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55</td></tr>
<tr><td colspan="3">الاختبارات الميكانيكية قبل عملية التصليد</td></tr>
<tr><td>للعينات الدائرية</td><td colspan="2">مقاومة الشد</td></tr>
<tr><td>للعينات المسطحة</td><td colspan="2">صلادة برينل = HB</td></tr>
<tr><td rowspan="2">الغرض من التجربة</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">الأدوات المستخدمة</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">درجة حرارة التصليد=</td><td>درجة حرارة وسيط التبريد=</td></tr>
<tr><td colspan="2">نوع وسيط التبريد=</td><td>زمن التصليد=</td></tr>
<tr><td rowspan="2">طريقة العمل</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="3">الاختبارات الميكانيكية بعد عملية التصليد</td></tr>
<tr><td>للعينات الدائرية</td><td>مقاومة الشد = σ_{UTS}</td><td>إجهاد الخضوع = σ_y</td></tr>
<tr><td>للعينات المسطحة</td><td>صلادة برينل = HB</td><td>الشغل المبذول في الصدم
σ_U =</td></tr>
<tr><td>الاستنتاج</td><td colspan="2"></td></tr>
</table>

ب/ الكربنة في وسط سائل :

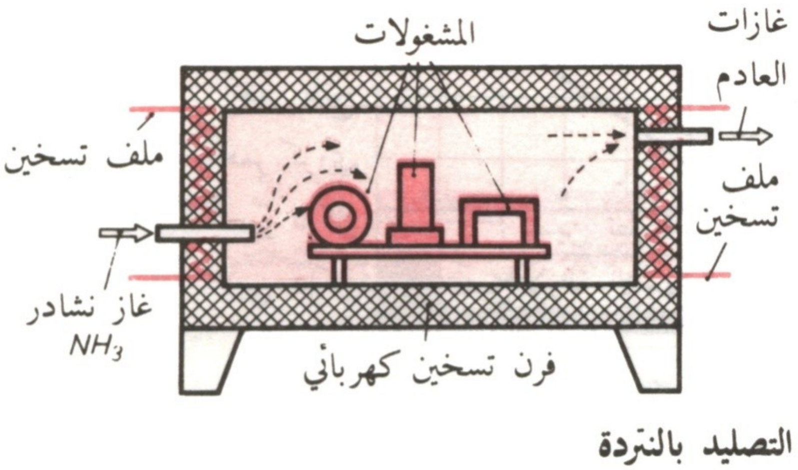
تتم في حمامات منصهرة تحتوي على 20% - 50% سيانيد الصوديوم مع كربونات الصوديوم بنسبة تصل إلى 40%، ثم يضاف كلوريد الصوديوم أو الباريوم ويسخن هذا الخليط الغني بالسيانيد في بواتق مغلفة بالألمنيوم حتى درجة حرارة 950Co – 870Co ، ويغمر المنتج الموضوع في سلال من السلك لفترات تتراوح من خمس دقائق وحتى ساعة وذلك حسب الطبقة المطلوبة ومن مميزات هذه الطريقة نظافة سطح المشغولات ودقة التحكم في درجة حرارة الحمام المنصهر مع إمكانية تبريد السلة الحاوية للمنتج تبريداً فجائياً، وتستخدم هذه الطريقة لإنتاج طبقة رقيقة على السطح بسمك من 0,1 mm حتى 0,25 mm .

ج/ الكربنة في وسط غازي:

تجرى عمليات الكربنة الغازية في الأفران ذات الإنتاج المتقطع والأفران الإنتاجية وفيها تسخن المنتجات حتى 900Co لمدة ثلاث أو أربع ساعات في جو يحتوي على الكربون مثل الميثان CH4 أو لبروبان C3H8، حيث ينبغي أن تكون عالية النقاوة لتفادي ترسب السناج C4 والذي يعيق عملية الكربنة.

ثانياً : التصليد بالنتردة Nitriding

تشبه النتردة عملية الكربنة، وذلك باستخدام النيتروجين بدلاً من الكربون بالإضافة إلى أن عملية النتردة تحتاج إلى أنواع خاصة من الصلب السبائكي. وتتم في درجات حرارة منخفضة نسبياً Co 550 في غرفة محكمة يمر بداخلها غاز الأمونيا (النشادر)، انظر الشكل رقم (٥).



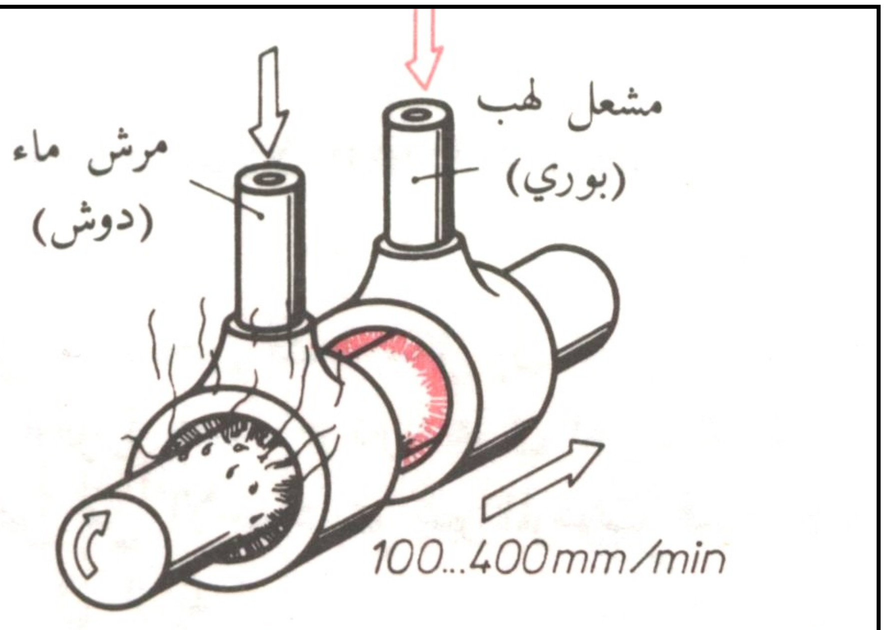
الشكل رقم (٥)

ثالثاً: التصليد بالسيندة

وفي هذه الطريقة يغمس الفولاذ في مصهور سيانيد البوتاسيوم لفترة قصيرة ويبرد بعد ذلك تبريداً فجائيا سريعا، حيث يمتص الفولاذ بعضا من الكربون والنيتروجين، ما يؤدي إلى زيادة الصلادة السطحية، وتطبق هذه الطريقة للحصول على تصليد سطحي قليل العمق.

رابعاً: التصليد باللهب

تتم عملية التصليد باللهب على المشغولات الكبيرة، وذلك لتصليد مناطق محددة مثل مواضع المرتكزات على المحاور، ويتم تسخين السطح بلهب غاز، مثل خليط غاز الأسيتيلين والأوكسجين ويبلغ عمق طبقة التصليد أقل من 1mm ويمكن التحكم فيه بواسطة درجة حرارة اللهب وفترة التسخين.



مثال للتصليد باللهب: التصليد الحلقي لعمود

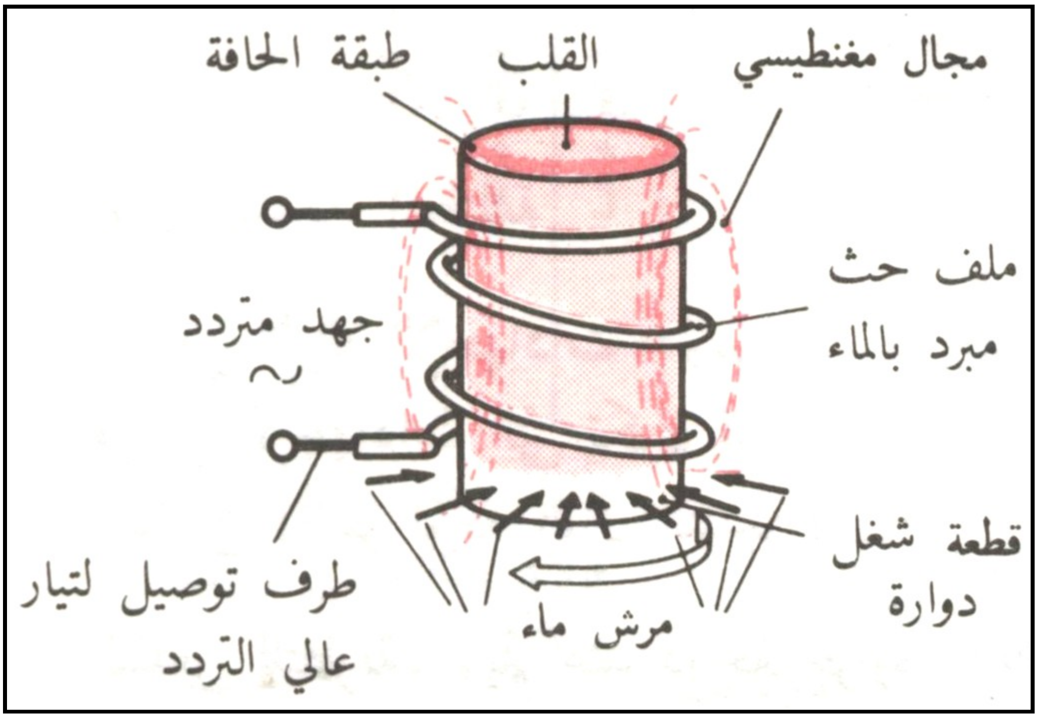
تجربة عملية:

أخي المتدرب:
تأكد من تطبيق تعليمات المدرب قبل تنفيذ هذه التجربة

التجربة	تصليد كامل	
نوع معدن قطع العمل	C10	
أبعاد قطعة العمل	عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر	
	عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55	
الاختبارات الميكانيكية قبل عملية التصليد		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم σ_U =
الغرض من التجربة		
الأدوات المستخدمة		
درجة حرارة التصليد=	درجة حرارة وسيط التبريد=	
نوع وسيط التبريد=	زمن التصليد=	
طريقة العمل		
الاختبارات الميكانيكية بعد عملية التصليد		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في لصدم σ_U =
الاستنتاج		

خامساً: التصليد بالحث الكهربائي

يستخدم ملف لإنتاج مجال مغناطيسي متردد يحدث تيارات دوامية في قطعة العمل، ويؤدي سريان التيار إلى ارتفاع سريع في درجة حرارة الطبقة السطحية المطلوب تصليدها، حيث يبلغ عمق التصليد من 0.2mm-50mm وتستخدم هذه العملية في أغلب الأحوال في المشغولات السابق تصليدها وتطبيعها، ومن مميزات هذه الطريقة إمكانية التحكم في عمق الطبقة السطحية المصلدة وقلة التشوه في المشغولات الناجم من عملية التصليد.



تجربة عملية:

أخي المتدرب:
التزم بتعليمات المدرب وابتعد عن الاجتهادات الشخصية عند التنفيذ

التجربة	تصليد كامل	
نوع معدن قطع العمل	CK45	
أبعاد قطعة العمل	عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر	
	عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55	
الاختبارات الميكانيكية قبل عملية التصليد		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم σ_U =
الغرض من التجربة		
الأدوات المستخدمة		
درجة حرارة التصليد=	درجة حرارة وسيط التبريد=	
نوع وسيط التبريد=	زمن التصليد=	
طريقة العمل		
الاختبارات الميكانيكية بعد عملية التصليد		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم σ_U =
الاستنتاج		

٢/ التخمير (التلدين) Annealing

هو أحد أشكال المعالجات الحرارية حيث يتم تسخين المعدن تسخينا بطيئا وإبقاؤه عند هذه الدرجة فترة زمنية معينة ومن ثم تبريده تبريداً بطيئا داخل الفرن و تترك داخل الفرن لتبرد ، ويتم ذلك على ثلاث مراحل:

- التخلص من الإجهادات الداخلية.
- إعادة التبلور.
- نمو الحبيبات.

أنواع التخمير :

أ / التخمير لإزالة الإجهادات:

يتم بعد التشغيل على البارد لإزالة الإجهادات الداخلية ويسخن الصلب بين ٥٥٠ ـ ٧٠٠ حيث يجرى بعد عمليات التشكيل العنيفة مثل عمليات الدرفلة أو سحب الأسلاك أو تشكيل الصفائح المعدنية ، حيث يتغير الشكل البلوري للمعدن فتضمحل طل البلورات وتتشارد فيما بينها وتتداخل مستويات الانزلاق مما يؤدي إلى إجهادات داخلية عنيفة ، لذلك يلزم هذا النوع من أنواع المعالجات الحرارية ويتم بتسخين المعدن إلى $400\,^{\circ}C$ ومن ثم يترك يبرد ببطء بالفرن.

ب/ تبريد إعادة التبلور (التخمير الشامل):

ويتم لإزالة الإجهادات الداخلية الناشئة من التشكيل على البارد ويتم بتسخين المعدن إلى درجة حرارة $700\,^{\circ}C$ ومن ثم يترك يبرد ببطء داخل الفرن، حسب نسبة الكربون بحيث يتحول طور الفرايت إلى اوستنيت كذلك طور البيرلايت الى أوستنيت .

ج/ التخمير الحبيبي (تخمير التكوين):

يتم للصلب عالي الكربون نسبة الكربون اكبر من 0.76% ويتم لتكوير صفائح السمنتيت الموجودة في البرليت وذلك بالتسخين والتبريد أعلى وأسفل النطاق الحرج بمقدار $30\,^{\circ}C$.

د / المراجعة (التطبيع) :

لا تستخدم قطعة العمل المصلدة في التطبيقات العملية كما هي؛ وذلك لقصافتها ، ويلزم اجراء عملية المراجعة لتقليل هذه القصافة وذلك برفع درجة حرارة الصلب الى درجة حرارة من ٢٠٠ـ ٣٥٠ ومن ثم تركها تبرد ببطء في الهواء و ابقائه في الفرن لمدة حسب سماكة القطعة.

- **الغرض من عملية المراجعة :** تقليل القصافة ، تقليل الصلادة بنسبة قليلة ، زيادة المتانة.

ألوان الفولاذ حسب درجات الحرارة في عملية التخمير

اللون	درجة الحرارة بالدرجات المئوية بالتقريب
بني داكن	550°C
أحمر بني	630°C
أحمر داكن	680°C
أحمر كرزي داكن	740°C
أحمر كرزي	780°C
أحمر كرزي فاتح	810°C
أحمر فاتح	850°C
أحمر فاتح جدا	900°C
أحمر مصفر (كهرماني)	950°C
أحمر مصفر فاتح	1000°C
أصفر	1100°C
أصفر فاتح	1200°C
أبيض مصفر	1300°C فأكثر

تجربة عملية:

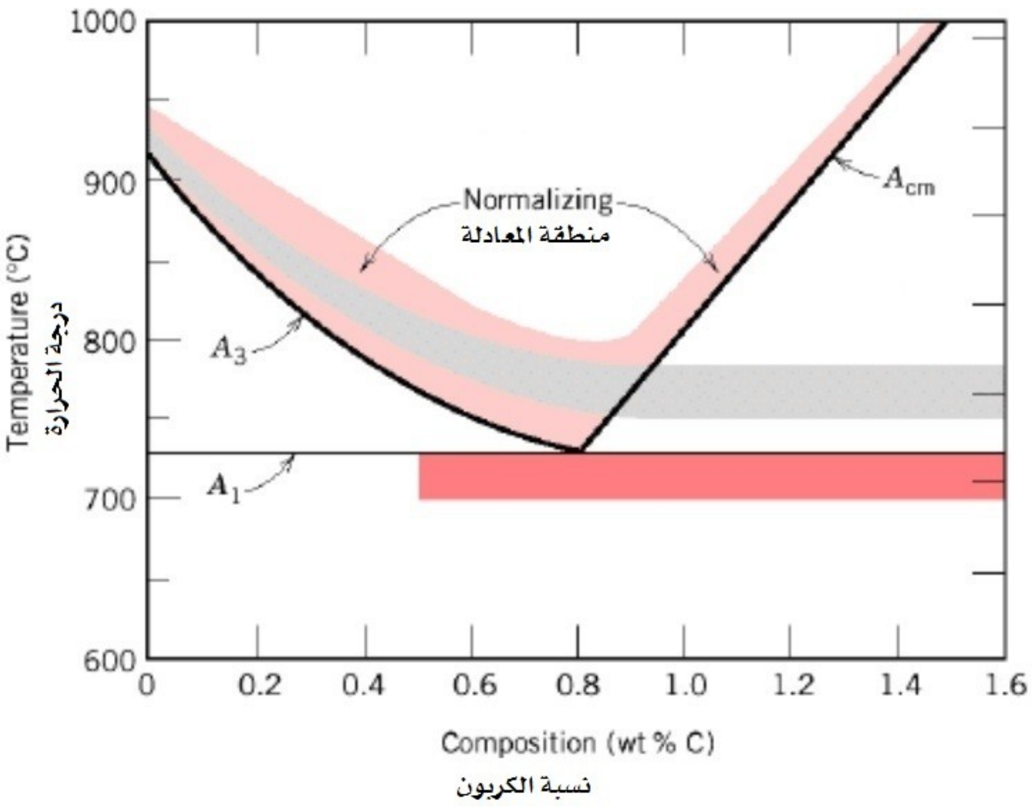
أخي المتدرب:

تقيد بلبس ملابس السلامة عند تنفيذ التجربة

<table>
<tr><td>التجربة</td><td colspan="3">تصليد كامل</td></tr>
<tr><td>نوع معدن قطع العمل</td><td colspan="3">CK45</td></tr>
<tr><td rowspan="2">أبعاد قطعة العمل</td><td colspan="3">عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر</td></tr>
<tr><td colspan="3">عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55</td></tr>
<tr><td colspan="4">الاختبارات الميكانيكية قبل عملية التخمير</td></tr>
<tr><td>للعينات الدائرية</td><td colspan="2">مقاومة الشد = σ_{UTS}</td><td>إجهاد الخضوع = σ_y</td></tr>
<tr><td>للعينات المسطحة</td><td colspan="2">صلادة برينل = HB</td><td>الشغل المبذول في الصدم
σ_U =</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">الغرض من التجربة</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="4">الأدوات المستخدمة</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="2">درجة حرارة التصليد=</td><td colspan="2">درجة حرارة وسيط التبريد=</td></tr>
<tr><td colspan="2">نوع وسيط التبريد=</td><td colspan="2">زمن التصليد=</td></tr>
<tr><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td rowspan="2">طريقة العمل</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="4">الاختبارات الميكانيكية بعد عملية التخمير</td></tr>
<tr><td>للعينات الدائرية</td><td colspan="2">مقاومة الشد = σ_{UTS}</td><td>إجهاد الخضوع = σ_y</td></tr>
<tr><td>للعينات المسطحة</td><td colspan="2">صلادة برينل = HB</td><td>الشغل المبذول في الصدم
σ_U =</td></tr>
<tr><td rowspan="3">الاستنتاج</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td colspan="3"></td></tr>
</table>

٣/ المعادلة (الاستعدال) Normalizing

تتم عملية المعادلة برفع درجة حرارة الصلب أعلى من درجة الحرارة الحرجة العليا بمقدار40 C° ومن ثم يتم التبريد إلى درجة حرارة الغرفة بالهواء الساكن .



الهدف من عملية المعادلة :

أ - تحسين الخواص التشغيلية للصلب.

ب -إعادة استدقاق البنية إثر عوامل التضخم الحبيبي للبنية.

ج - توحيد الحجم الحبيبي في البنية.

د- الحصول على مقاومة للشد وصلادة أعلى مع خواص تشغيلية أفضل عن تلك التي يتم الحصول عليها في حالة التخمير الكامل.

تجربة عملية :

أخي المتدرب:
اتبع الطرق الصحيحة وإرشادات المدرب عند تنفيذ التجربة

التجربة	تصليد كامل	
نوع معدن قطع العمل	CK45	
أبعاد قطعة العمل	عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر	
	عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55	
الاختبارات الميكانيكية قبل عملية المعادلة		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم $\sigma_U =$
الغرض من التجربة		
الأدوات المستخدمة		
درجة حرارة التصليد=	درجة حرارة وسيط التبريد=	
نوع وسيط التبريد=	زمن التصليد=	
طريقة العمل		
الاختبارات الميكانيكية بعد عملية المعادلة		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم $\sigma_U =$
الاستنتاج		

٤/ المراجعة (التطبيع) Tempering

لا تستخدم قطع العمل المصلدة في التطبيقات العملية كما هي وذلك لقصافتها ويلزم إجراء عملية المراجعة لتقليل هذه القصافة وذلك برفع درجة حرارة الصلب إلى درجة حرارة أقل من درجة الحرارة الحرجة الدنيا (أقل من 723 Co) ومن ثم تركها تبرد تبريداً بطيئاً.

- الغرض من عملية المراجعة :

تقليل القصافة ـ الصلادة بنسبة قليلة ـ زيادة المتانة.

ألوان الفولاذ حسب درجات الحرارة في عملية التطبيع

اللون	درجة الحرارة بالدرجات المئوية بالتقريب
أصفر مبيضّ	200°C
أصفر قشي	220°C
أصفر ذهبي	230°C
بني مصفر	240°C
أحمر بني	250°C
أحمر	260°C
أرجواني	270°C
بنفسجي	280°C
أزرق داكن	290°C
أزرق (بلون زهرة القمح)	300°C
أزرق فاتح	320°C
رمادي مزرق	340°C
رمادي	360°C

تجربة عملية:

أخي المتدرب:

استخدامك وسائل السلامة المتوفرة في الورشة دليل وعيك

التجربة	تصليد كامل	
نوع معدن قطع العمل	CK45	
أبعاد قطعة العمل	عينة اختبار شد دائرية المقطع قصيرة ذات قطر	
	عينة اختبار صدم مسطحة ذات أبعاد 10*10*55	
الاختبارات الميكانيكية قبل عملية المراجعة		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم $\sigma_U =$
الغرض من التجربة		
الأدوات المستخدمة		
درجة حرارة التصليد=	درجة حرارة وسيط التبريد=	
نوع وسيط التبريد=	زمن التصليد=	
طريقة العمل		
الاختبارات الميكانيكية بعد عملية المراجعة		
للعينات الدائرية	مقاومة الشد = σ_{UTS}	إجهاد الخضوع = σ_y
للعينات المسطحة	صلادة برينل = HB	الشغل المبذول في الصدم $\sigma_U =$
الاستنتاج		

التمارين

١/ اذكر مع الرسم الشبكات البلورية في المعادن ؟

٢/ ارسم منحنى الاتزان الحراري للحديد والكربون موضحاً عليه أهم الأطوار ؟

٣/ ماذا يقصد بالمصطلحات المتالوريجية التالية:

الفريت - السمنتيت - الأوستنيت - البرليت - المارتنزيت ؟

٤/ ما هي الأهداف الرئيسة للمعالجات الحرارية ؟

٥/ اذكر أنواع المعالجات الحرارية وتأثيرها على الصلب ؟

٦/ اشرح باختصار كيف تتم عملية التصليد الكامل على الصلب ؟

٧/ أذكر ثلاثة من أمور السلوك المهني السليم أثناء تنفيذ المعالجة الحرارية ؟

٨/ أذكر ثلاثة من أمور الأمن و السلامة أثناء تنفيذ المعالجة الحرارية ؟

٩/ ما هي درجة الحرارة اللازمة للتصليد لبنيات الصلب المختلفة ؟

١٠/ اذكر أهم العيوب الممكن حدوثها عند عمليات تصليد الصلب ؟

١١/ اذكر أنواع التصليد السطحي، ومتى يفضل استخدامها ؟

١٢/ اشرح باختصار كيف تتم عملية التلدين، وما أنواعها ؟

١٣/ اشرح باختصار كيف تتم عملية المعادلة ، وما درجة الحرارة المناسبة لها ؟

١٤/ كيف يمكن التقليل من تكون طبقة الأوكسيد على أسطح المشغولات أثناء التصليد؟

١٥/ ما هي الأسس الفنية الواجب مراعاتها عند عملية التصليد ؟

تعليمات للمدرب

يفضل أن يقوم المدرب:

- بتوجيه المتدربين بإجراء الاختبارات الميكانيكية قبل وبعد عملية المعالجة الحرارية.
- بتوجيه المتدربين لمقارنة النتائج قبل وبعد عملية المعالجة الحرارية.
- بإجراء التطبيقات العملية حسب الإمكانات المتاحة.
- على المدرب توخي الحذر وتطبيق وسائل السلامة عند إجراء المعالجات الحرارية.
- يفضل عدم تطبيق التصليد السطحي بالسيندة عمليا، نظراً لخطورة أملاح السيانيد